

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭58—114468

⑬ Int. Cl.³
H 01 L 29/91
29/74

識別記号

庁内整理番号
7638—5F
7738—5F

⑭ 公開 昭和58年(1983)7月7日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑮ 高速ダイオード

東洋電機製造株式会社技術研究
所内

⑯ 特 許 願 昭56—209911

⑰ 出 願 人 東洋電機製造株式会社

⑱ 出 願 昭56(1981)12月28日

東京都中央区八重洲2丁目7番

⑲ 発 明 者 村岡公裕

2号

横浜市戸塚区上倉田町884番地

1. 発明の名称

高速ダイオード

2. 特許請求の範囲

高抵抗N形基材からなるシリコン基板N1層の一方の面にP形不純物のガリウムまたはアルミニウムを拡散して形成したP層を、他方の面にN形不純物のリンを選択的に拡散し、複数個に分散配置して形成した主領域となるN⁺層を有するP—N1—N⁺接合と、前記分散配置したN⁺層に囲まれた複数個の小領域を有するP—N1接合において、該両接合のP層上にP形不純物のゲロンを拡散して形成したP⁺層を設け、また前記複数個の小領域を有するN1層面にN形不純物のアンチモンを拡散して形成したN層を設けたP⁺—P—N1—N⁺とP⁺—P—N1—Nの両接合を形成し、このP⁺—P—N1両接合におけるP⁺層とP層の厚み関係はP⁺層の厚みがP層の1/3以下の厚み関係を有するダイオードウエフアとし、逆回復電荷を小さくするためにダイオードウエフアのP⁺層およびN層面よりライフタイム

ムキラーである金を熱拡散し、P—N1接合とN1—N接合近傍に高い金の濃度分布を形成したことを特徴とする高速ダイオード。

3. 発明の詳細な説明

最近急速な電力用半導体工業の進歩に伴い、ターンオフタイム5μsec以下のサイリスタが出現しつつある。電圧形インバータに適用する際には、サイリスタに逆並列にダイオードを接続して使用することが一般的である。ターンオフタイムの小さいサイリスタに逆並列接続して使用されるダイオードは、サイリスタのターンオフタイム能力に対応した高速度電流しゃ断能力を有する素子(逆回復電荷の小さい素子)が要求される。逆回復電荷 $Q_r = T_r \times I_{rp} / 2$ で表現されるので、高速ダイオードに要求される特性は次の二点である。なお T_r は逆回復時間、 I_{rp} は逆回復時のピーク電流である。

(1) 逆回復時間の小さいこと。即ち転流時にサイリスタ側に再印加されるピーク電圧はダイオードの逆回復電荷の影響を受け、ダイオードの逆回復

電荷が大きいほど上昇するので、より高い定格電圧のサイリスタが必要となり、サイリスタ応用技術上、逆回復電荷の大きいダイオードは好ましくない。

(2) 逆回復時のピーク電流が小さくその di/dt が、ゆるやか (Soft Recovery) であること。即ちダイオードの逆回復時の di/dt が急峻な特性 (Snap-off) では転流時にサイリスタに再印加される電圧は高い dv/dt を持った電圧が印加され、サイリスタの dv/dt 特性をおびやかすことになり、サイリスタ応用技術面から Snap-off 特性を有するダイオードは好ましくない。

以上の理由によって、前述の目的に使用される高速度ダイオードは逆回復時の di/dt が、Soft Recovery 特性を有し逆回復時間の小さいダイオードが望ましい。

本発明は上記の目的のためになされたものであり、以下図面により本発明の一実施例について詳細に説明する。

第1図は Snap-off 特性を有するダイオードの逆

回復時の電流波形の説明図、第2図は Soft Recovery 特性を有するダイオードの逆回復時の電流波形の説明図である。

ダイオードの逆回復特性において、第1図のように逆回復時間 T_r の短かい急峻な di/dt の変化を示す Snap-off 特性と、第2図のような逆回復時間 T_r の長く緩やかな di/dt の変化を示す Soft Recovery 特性の差は、ダイオード材料層のライフタイムに関係する。例えば P-N1-N⁺ 接合の場合には N1 層のライフタイムが短いほど逆回復時間の短い Snap-off 特性が得られ、N1 層のライフタイムが長いほど逆回復時間の長い Soft Recovery 特性が得られる。

本発明は一枚のシリコン円板からなるダイオードウェハの厚み方向内に Snap-off 特性を有する領域と Soft Recovery 特性を有する領域を直列に組合せ、この直列に組合せた領域へ Snap-off 特性を有する領域を並列に組合せることにより、逆回復時間と逆回復ピーク電流の小さい Soft Recovery 特性を有するダイオードを実現したものである。

第3図は本発明の一実施例を示す高速度ダイオ

ードの部分断面図である。
1 はアルミ蒸着法で形成されたアノード電極、2 は P 形不純物のガリウムまたはアルミニウムで拡散形成した P 層、4 は N1 層、5 は N 形不純物のリンを選択的に拡散し、複数個に分散配置して形成した N⁺ 層、6 は N⁺ 層で囲まれた N1 層 4 へ N 形不純物のアンチモンを拡散して形成した N 層、7 は金属ろう材、8 は補強用支持電極でカソード電極となる。2 は P 層 3 へ P 形不純物のボロンを拡散して形成した P⁺ 層である。

第4図は第3図のアノード電極垂直方向における I-I' 断面即ち P⁺ 層 2、P 層 3、N1 層 4、N⁺ 層 5 の各層のライフタイムカラー (Au) の濃度分布を示した説明図である。

ライフタイムカラーの濃度は P⁺-P-N1 層近傍 (図中 A 領域) が最も多く、つぎに N1 層の中央部 (図中 B 領域) が多く、最も少ない場所は N⁺-N1 層近傍 (図中 C 領域) である。第5図は第3図のアノード電極垂直方向における R-R' 断面即ち P⁺ 層 2、P 層 3、N1 層 4、N 層 6 の各層のライフタイム

カラーの濃度分布を示した説明図である。ライフタイムカラーの濃度は P⁺-P-N1 層近傍 (図中 A 領域) と N1-N 層近傍 (図中 D 領域) がほぼ等しく、かつ、N1 層 4 の中央部 (図中 B 領域) より多くなっている。本発明の高速度ダイオードは第3図に示す構成で形成されることにより第4図と第5図に示したライフタイムカラーの濃度分布を得ることが特徴である。

つぎに第4図と第5図に示すライフタイムカラー濃度分布を有するダイオードの逆回復特性について説明する。

導通状態にある本ダイオードへ逆電圧が印加されると、導通時のキャリアは P-N1 接合を中心として正孔はアノード電極 1 へ、電子はカソード電極 8 へ向って移動する一方、P-N1 接合近傍のライフタイムカラー濃度に依存して再結合が行われてキャリア濃度が減少して行き、P-N1 接合近傍は逆電圧の値に応じた厚みをもって空乏層化される。

このとき空乏層の厚みは P-N1 接合の接合面よ

りN1層の方向に向って拡がって行く。一般的にみてスイッチング時にダイオードへ印加される逆電圧は定格電圧の $1/8 \sim 1/10$ 程度であるから、逆電圧印加によって生じる空乏層厚みは概念的にN1層の中央部またはそれ以下まで拡がると考えてよい。

このため空乏層厚み内のライフタイムキャリア濃度が高いほど、空乏層内のキャリアは急激な変化を示すため逆回復電流も急激な変化を示す。

つぎに空乏層の外側(N1層の中央部からN⁺層まで)へ移動したキャリアは、ライフタイムキャリア濃度の低い領域へ移るので、この場所ではキャリアは再結合により緩やかに減衰するため逆回復電流も緩やかな変化を示しながら減衰して時間の経過と共に逆回復電流は零となり、この過程を経て逆回復時間が決定されるのである。

この様子をやや詳しく説明すると第4図のライフタイムキャリア濃度分布を有するダイオードのスイッチング時の逆回復電流は、逆回復電流が流れ始めて逆回復電流のピーク値を過ぎた前期は急激な電流変化を示すsnap-off特性が現れ、後半期には

緩やかな電流変化を示すSoft Recovery特性が現れる3段階の電流変化を示す逆回復特性を得ることができる。

第6図は上述した状態を説明するための逆回復時の電流波形を示した説明図である。

ダイオードの逆回復特性はsnap-off特性を示す di/dt の大きい領域9とSoft Recovery特性を示す di/dt の小さい領域10が出現する。高速ダイオードで特に重要な点は領域10の di/dt を小さく抑えることである。この思想は本発明者によって昭和56年9月25日付で出願した特願昭56-150671号に記載されている。

第4図のライフタイムキャリア濃度分布を有するダイオードは、従来の高速ダイオードと比較すると大幅な特性改善が行われている。しかしながら3段階の逆回復電流特性を維持しながら逆回復時間を更に短縮しようとする、第4図のライフタイムキャリア濃度分布のみでは不十分であるので、この改善方法について説明する。

第5図のライフタイムキャリア濃度はN1層4のB

領域(第4図B領域に等しい)で少なく、N1層4を中心にして左右対称にP⁺層8およびN⁺層6の方向に向って増加したU字形のA、D領域(第4図A領域に等しい)を形成している。

第4図のライフタイムキャリア濃度分布を示すダイオードエレメント内に第5図のライフタイムキャリア濃度分布を示す領域がN⁺層5に対して数10%に複数分散した形状で局部的に並列に追加されると、第4図のライフタイムキャリア濃度の少ないC領域に存在するキャリアを部分的に早く減衰させる効果が現れる。この効果によって第5図のライフタイムキャリア濃度分布を有するダイオード部分は第1図に示されるsnap-off特性化を促進するので、第4図のライフタイムキャリア濃度分布のみの場合よりも逆回復時間と逆回復時のピーク電流を短縮させる働きをする。

第5図のライフタイムキャリア濃度分布はN⁺層5面積に対して数10%程度であるから、第4図のライフタイムキャリア濃度分布の効果すなわち第6図の di/dt をゆるやかに減衰させる効果を損うこと

なく逆回復時間を短縮することができ、より高速化をもたらすことができる。この点が本発明の最大の特徴となっている。

つぎに本発明による高速ダイオードの一実施例の製造工程を第7図(a)、(b)、(c)、(d)を用いて説明する。

なお第3図と同一符号は同一または相当部分を示す。

第7図(a)はシリコン基板として、比抵抗 $70\Omega\text{cm}$ のN形シリコンで厚み 0.27mm 、直径 23mm が使用される。予めシリコン基板の片面には拡散法でP形不純物のガリウムまたはアルミニウムを用いて、P層8が表面濃度約 $5 \times 10^{17}\text{atoms/cc}$ 、厚み 40μ で形成されており、他の面にはN形不純物のリンを用いて、表面濃度約 $1 \times 10^{21}\text{atoms/cc}$ 、厚み 10μ のN⁺層5が公知の酸化膜とホットレジスト技術を利用した選択拡散技術を用いて形成され、N1層4は厚み 220μ を有し、かつ、P層8面上を除いた他の場所に酸化膜11を有したシリコン円板が準備される。この時点のシリコン円板に対して、N1層の

結晶構造の乱れの度合いをX線2結晶法によるロックンダカーブで調べてみると、N1層には結晶構造の乱れはほとんど観察されなかった。この原因としてはN1層の片面にシリコンの原子半径117Åに対して、107%の原子半径126Åを有するガリウムまたはアルミニウム拡散されたP層を有し、他の面にはシリコンの原子半径に対して94%の原子半径110Åのリンが選択的に拡散されたN⁺層を形成しているため、同拡散層で原子半径の差を吸収し合っただけで結晶構造に乱れが生じていないものと推察される。

このように、ほぼ完全結晶に近いシリコン円板に対して、ライフタイムカラーである金を熱拡散しても第4図と第5図のような金の濃度分布を1回の金拡散で得ることは不可能である。

本発明は接合形成時に1回の金の熱拡散で第4図と第5図のような金の濃度分布を同時に得るために、予めシリコン円板の厚み方向に金の濃度分布に対応した結晶構造の乱れを誘起させて、金原子が結晶構造の乱れ部分に多く蓄積する性質を利

用し、前述の金の濃度分布を得ようとするものである。

まず第4図の金濃度分布を得る目的のために原子半径126Åを有するガリウムまたはアルミニウム拡散で、低い表面濃度 (5×10^{17} atoms/cc) で形成されたP層面上に、原子半径の小さいボロン (088Å) を高い表面濃度 (約 10^{19} atoms/cc オーダー) で拡散すると、結晶構造的にはボロン原子の影響が強まり、ガリウムまたはアルミニウム単体よりもN1層の方角に結晶構造の乱れを誘起することが容易となる。ただしP⁺層の厚みを厚くし過ぎると結晶構造の乱れがN1層全体に及ぶので、P⁺層の厚みとP層の厚み関係には調和をとる必要がある。

前述の理由により第7図(a)のP層8面より、ボロンを表面濃度 5×10^{19} atoms/cc で、その厚みは最終的にP層の1/3以下にするために予め5μの拡散を行い第7図(b)のP⁺層2を形成した。この拡散により新たな酸化膜11がP⁺層2面上に形成される。

つぎに第5図の金濃度分布を得る目的のために第7図(b)のようにN⁺層5に面されたN1層4'面へN形不純物のアンチモン (原子半径136Å、シリコンに対して116%) を拡散するために、酸化膜11へ窓12が開けられる。つぎにN1層4'面へアンチモンを表面濃度 6×10^{19} atoms/cc で、その厚み約5μの拡散を行い第7図(c)のN層6を形成した。

なお、N⁺層5とN層6の面積比率はN/N⁺=15%に設計されている。このアンチモン拡散によって最終的な厚み関係は、P⁺層は15μ、P層は45μ、N1層は180μ、N⁺層は30μとなる。なお前述のボロン拡散によってP⁺層2とN層6面上には新たな酸化膜11が形成される。

第7図(c)のシリコン円板に対して、P層3とN1層4およびN層6とN1層4'の結晶構造の乱れの度合いをX線2結晶法によるロックンダカーブで調べてみると、P⁺層2からP層3、N1層4'の方角に向ってまたN層6からN1層4'の方角に向って強い結晶の乱れが生じていることが判明した。この原因はシリコン (原子半径117Å) に対して大きく、

原子半径の異なるボロン (原子半径088Å、シリコンに対して75%) とアンチモン (原子半径136Å、シリコンに対して116%) を表面濃度で拡散したことによると考えられる。この結晶の乱れは第3図のI-I断面図ではP-N1接合近くに強く現れ、N1層4'からN⁺層5に向って減少していることが判明した。他方、第3図のR-R断面図ではP-N1接合近くに強く現れ、N1層4'に向って減少しており、またN-N1接合では同接合近くに強く現れ、N層6からN1層4'に向って減少していることも判明した。

シリコン円板の厚み方向の結晶構造の乱れの傾向は、第3図I-I断面図では第4図の金濃度分布のA、B領域に対応し、第3図R-R断面図では第5図の金濃度分布A、B、D領域に対応していた。この点が本発明の最大の特徴である。

つぎに、第7図(c)のダイオードウエフアの送回復時間を小さくするために、酸化膜11を除去して、ダイオードウエフアの両面に対して真空蒸着にて金が蒸着され、820℃の温度で60分間の熱処理が

行われる。この熱処理によって第3図イ～イ断面相当部分の金の濃度分布は、第4図に示すA、B、C領域を形成する。

1回の金の熱拡散で第4図のA、B領域が現れる理由は、前述の結晶構造の乱れの傾向と対応しており、C領域で減少する理由は、金が N^+ 層5にグッターされるためである。金のグッター効果はリンを拡散して形成した N^+ 層が特に有効であり本発明の一つの特徴となっている。また、1回の金の熱拡散で第5図のA、B、D領域が現れる理由は、アンチモンには金をグッターする作用がないので前述の結晶構造の乱れと対応して分布することから理解されよう。

この熱処理後、第7図(d)のように N^+ 層5とN層6の面に対してダイオードウエフと同径のタンダステンから成る支持電極8をアルミニウムを主成分とする金属ろう材を介して置き、これを不活性ガス中で熱処理を行い一体に固着される。これにより N^+ 層5とN層6はアルミニウムで覆われた形状となる。その後、P⁺層2の面に対してはア

ノード電極1となる直径15 μ 、厚み10 μ をすするアルミ層電極が形成される。

以上説明したような製作工程を経て第4図に示されるA、B、Cのごとく三つの領域を示す金の濃度分布と第5図に示されるA、B、Dのごとく三つの領域を示す金の濃度分布を実現することができる。

固着完成後、電圧阻止接合であるP-N₁接合は球面研磨法等により負べルに整形された後に、べル面に対して化学研磨、表面保護膜形成等がなされてダイオードが完成する。

このようにして製作されたダイオードの定格は150A、2000Vで逆回復時間に約1 μ secであり、その逆回復時の電流波形は第6図に示されるように二段階の di/dt 特性を示す波子を得ることができた。

なお、逆回復電流測定条件としては、順電流200A、順電流降下率50A/ μ sで行った。

第 1 表

	逆回復時間 (μ sec)	di_1/dt	di_2/dt	逆回復電流 (A)
本発明素子	1	100A/ μ sec	85A/ μ sec	70
従来素子	4	75A/ μ sec	75A/ μ sec	160

第1表は本実施例によって製作された素子と従来製作されていた同定格の素子を比較したものである。第1表から理解されるように本発明による素子は、逆回復時間と逆回復電流が小さく、ダイオードと逆並列接続して使用されるサイリスタに与える dv/dt 耐量に大きな影響をもつ di/dt が、従来の素子よりも低減された優秀な高速ダイオードが製作可能となった。このためサイリスタ応用技術面に寄与する効果が極めて大きいものである。

なお、本実施例ではダイオード単体について説明を行ったが、ダイオードが組合化された他の半導体装置、例えば逆導通サイリスタや逆導通サイリスタウエフとダイオードウエフが一体化さ

れてなる複合逆阻止サイリスタなどにも利用できることは、同業者ならば容易に推察できるものである。

4. 図面の簡単な説明

第1図はSnap-off特性を有するダイオードの逆回復時の電流波形の説明図、第2図はSoft-Recovery特性を有するダイオードの逆回復時の電流波形の説明図、第3図は本発明の一実施例を示す高速ダイオードの部分断面図、第4図は第3図の本発明ダイオードのイ～イ断面部の金濃度分布を示した説明図、第5図は第3図の本発明ダイオードのロ～ロ断面部の金濃度分布を示した説明図、第6図はその逆回復時の電流波形を示した説明図、第7図は本発明の高速ダイオードの一実施例の製造工程を示す縦断面図である。

1……アノード電極、2……P⁺層、3……P層、4、4'……N₁層、5……N⁺層、6……N層、7……金属ろう材、8……支持電極、11……酸化膜、12……窓。

